

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: 09-210783

(43)Date of publication of application: 15.08.1997

(51)Int.Cl.

G01J 3/28

G01J 3/36

(21)Application number: 08-020914

(71)Applicant: YOKOGAWA ELECTRIC CORP

(22)Date of filing: 07.02.1996

(72)Inventor: TACHIKAWA YOSHIHIKO

SANPEI YOSHIHIRO

SUZUKI YASUYUKI

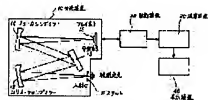
ARIHARA MAMORU

(54) LIGHT SPECTRUM ANALYZER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enlarge the dynamic range by operating the spectral shape of a light to be measured based on the central wavelength and total power and operating the spectrum for the light based on a data received actually from an array element.

SOLUTION: A light to be measured passes through a slit 11, a collimating mirror 12, a diffuser element 13 and a focusing mirror 14 before being focused on an array element 15. Position of a light spot impinging on the array element 15 is shifted depending on the wavelength of light to be measured. A driver 20 drives a spectrometer 10 and reads out a signal. In an operator 30, central wavelength and total power are operated from the distribution of light power at the output and incident port of array element 15 and then the spectrum shape of the light to be measured is operated. Spectrum of other light is operated based on the spectrum and an actual data from the array element 15. Spectrum of the light to be measured and/or other light is displayed on a display 30.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

03.02.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2000 Japanese Patent Office

特開平9-210783

(43)公開日 平成9年(1997)8月15日

(51) Int.Cl. [*]	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 J 3/28			G 0 1 J 3/28	
3/36			3/36	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O.L. (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願平8-20914	(71) 出願人	000006507 横河電機株式会社 東京都武蔵野市中町2丁目9番32号
(22) 出願日	平成8年(1996)2月7日	(72) 発明者	立川 義彦 東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河 電機株式会社内
		(72) 発明者	三瓶 義広 東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河 電機株式会社内
		(72) 発明者	鈴木 泰幸 東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河 電機株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 渡辺 正康

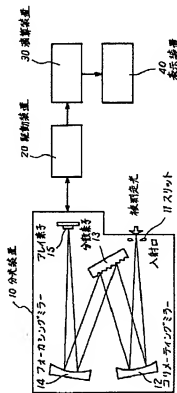
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光スペクトラムアナライザ

(57) 【要約】

【課題】レーザ光に埋もれたASEノイズなども測定できるようにし、等価的にダイナミックレンジを向上させ得る光スペクトラムアナライザを実現する。

【解決手段】入射口から被測定光を分散素子に入射し、分散素子から出射される光を集束して複数の受光素子から成るアレイ素子に照射するように構成された分光装置と、前記各アレイ素子の出力と前記入射口での光パワー分布とから中心波長を推し知る、トータルパワーを演算し、前記中心波長とパターンから被測定光のスペクトル形状を演算により求める機能、および前記演算されたスペクトルと前記アレイ素子より得られる実データから被測定光以外のスペクトルを演算により求める機能を有する演算装置と、前記被測定光のスペクトルと被測定光以外のスペクトルのいずれか一方または両方を表示する表示装置を備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入射口からの被測定光を分散素子に入射し、分散素子から出射される光を集束して複数の受光素子から成るアレイ素子に照射するように構成された分光装置と、

前記各アレイ素子の出力と前記入射口での光パワー分布とから中心波長とトータルパワーを演算する機能、および前記中心波長とトータルパワーから被測定光のスペクトル形状を演算により求め、そのスペクトルと前記アレイ素子より得られる実データから被測定光以外のスペクトルを演算により求める機能を有する演算装置と、

前記被測定光のスペクトルと被測定光以外のスペクトルのいずれか一方または両方を表示する表示装置を備えたことを特徴とする光スペクトラムアナライザ。

【請求項2】 前記入射口にシングルモードファイバを用い、前記演算装置は入射口での光パワー分布をガウス型またはローレンツ型として前記中心波長とトータルパワーを演算により求めるように構成したことを特徴とする請求項1記載の光スペクトラムアナライザ。

【請求項3】 前記演算装置は、最大出力を示す受光素子の両側の受光素子の出力の比の対数の値が、最大出力を示す受光素子の中心と入射ビームの中心とのずれに比例するものと近似し、中心波長およびトータルパワーを演算により求めるように構成したことを特徴とする請求項1記載の光スペクトラムアナライザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、アレイ素子を用いた光スペクトラムアナライザに関し、特にダイナミックレンジの向上のための改善に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 大容量伝送システムとして期待されている波長多重通信システムにおける伝送信号は、キャリアとしてのレーザ光と光（ファイバ）アンプによるASEノイズである。このようなシステムにおいては、レーザ光のスペクトルを正確に測定することはもちろんのこと、伝送信号のS/Nに多大な影響を与えるASEノイズを評価することもまた重要であった。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、アレイ素子を用いた分光装置は可動部がなく、波長多重通信システムの伝送信号モニタとして最適であるが、レーザ光近傍のASEノイズ（amplified spontaneous emission noise）を検出するためにはダイナミックレンジが不十分であった。一般に分散素子として回折格子を用いた分光装置では、ダイナミックレンジは干渉曲線のスロープによって決まる。すなわちダイナミックレンジは、単色光（波長 λ_0 ）のレーザ光が入射したとして、図10に示すように、波長 λ_0 とオフセット $\Delta\lambda$ におけるレベル差として定義される。したがってレーザ光近傍の微弱な光

などはレーザ光のスロープに埋もれてしまう。

【0004】 そのためダイナミックレンジを向上させる必要があるが、光スペクトラムアナライザなどの分光装置においてダイナミックレンジを向上させる方式としては、従来よりモノクロメータを2台またはそれ以上直列に並べる方式がある。この方式は、それぞれの分散素子（プリズムまたは回折格子）を逐次動かして、本来の光スペクトルとそれに重畳した迷光とを分離するものであり、いわゆるダブルモノクロメータと呼ばれる方式である。

【0005】 しかしながら、本願が取り扱う、アレイ素子と固定された分散素子とを組み合わせた分光装置では、上記のような手法を採用するのは機構上困難であり、他の方式の出現が切望されていた。

【0006】 本発明の目的は、このような点に鑑み、スペクトル幅が装置の分解能に比べてはるかに狭いレーザ光と光学系におけるASEノイズとが混在する光伝送システム（特に波長多重通信システム）において、レーザ光を測定した場合のスペクトル形状がその中心波長およびパワーによって予め推定できることを利用し、レーザ光に埋もれたASEノイズなどを測定できるようにし、等価的にダイナミックレンジを向上させ得る光スペクトラムアナライザを実現することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】 このような目的を達成するために本発明では、入射口からの被測定光を分散素子に入射し、分散素子から出射される光を集束して複数の受光素子から成るアレイ素子に照射するように構成された分光装置と、前記各アレイ素子の出力と前記入射口での光パワー分布とから中心波長とトータルパワーを演算する機能、および前記中心波長とトータルパワーから被測定光のスペクトル形状を演算により求め、そのスペクトルと前記アレイ素子より得られる実データから被測定光以外のスペクトルを演算により求める機能を有する演算装置と、前記被測定光のスペクトルと被測定光以外のスペクトルのいずれか一方または両方を表示する表示装置を備え、ASEノイズも検出することができるように構成したことを特徴とする。

【0008】

【発明の実施の形態】 以下図面を用いて本発明を詳しく説明する。図1は本発明に係る光スペクトラムアナライザの一実施例を示す構成図である。図1において、10は分散素子とアレイ素子を有する分光装置、20は分光装置10のアレイ素子の駆動および信号読み出しを行う駆動装置、30は演算装置、40は表示装置である。

【0009】 分光装置10は、スリット11、コリメーティングミラー12、回折格子などの分散素子13、フォーカシングミラー14、アレイ素子15から構成される。スリット11の入射口を通して入射された被測定光はコリメーティングミラー12で平行光となり分散素子13に入射する。分散素子13の出射光はフォーカシ

グミラー14でアレイ素子15上に集束する。この場合、分散素子13は固定されていて、アレイ素子15に当たる光スポットの位置は被測定光の波長に対応して移動する(ずれる)。

【0010】以下特に演算装置30が有する演算のアルゴリズムについて説明する。アレイ素子は、図2に示すように、短冊状の受光部(素子または受光素子という)が配列されたもので、ここでは素子の数を n_0 、素子の長さを l 、素子の幅を d 、素子のピッチを r とする。このような構成のアレイ素子の中で出力が最大となる n 番目の素子の中心と、出射ビーム(強度分布 $f(x, y)$)の中心($x=0$)とが Δx だけずれている場合、本発明では各素子の出力 $P_{n-2}, P_{n-1}, P_n, P_{n+1}, \dots$ から Δx を求め、波長を補間してトータルパワーを推定する。

【0011】ただし、前提として

(1) 被測定光のスペクトル線幅は、十分小さく(ここではレーザ光を想定している)、出射ビームの広がり(あ

$$g(\xi, \eta) = (2/\pi\omega_0^2) \exp \{ -2(\xi^2 + \eta^2)/\omega_0^2 \}$$

ただし、 ω_0 はスポットサイズとなる。

【0014】レンズ系によってビームが変換あるいは多少の回折の効果を受けても、アレイ素子上での光強度分

$$f(x, y) = (2/\pi\omega^2) \exp \{ -2(x^2 + y^2)/\omega^2 \} \quad \dots\dots(2)$$

ただし、 ω はスポットサイズとなる。

【0015】したがって、 k 番目の素子に照射される光

$$P_k = \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \int_{x_1}^{x_2} \frac{2}{\pi\omega^2} \exp \left\{ -\frac{2(x^2 + y^2)}{\omega^2} \right\} dx dy$$

ただし、 $x_1 = (k-n)r - d/2 + \Delta x$

$x_2 = (k-n)r + d/2 + \Delta x$

で表わされる。

【0016】ここで、 $L/2 \gg \omega$ とし、積分範囲(y 軸)を

【数2】

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp \left(-\frac{2}{\omega^2} y^2 \right) dy = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \omega$$

より、

【0017】

【数4】

$$P_k = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\omega} \int_{x_1}^{x_2} \exp \left\{ -\frac{2}{\omega^2} x^2 \right\} dx$$

さらに、変数変換(2)^{1/2} $x/\omega = t$ を行えば、

【数5】

$$P_k = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{t_1}^{t_2} e^{-t^2} dt$$

ただし、 $t_1 = (2)^{1/2} (1/\omega) \{ (k-n)r -$

るいは形状)は主としてレンズによる回折および入射口のパワー分布によって決まる。

(2) アレイ素子の番号と波長とは予め対応が付けられており、アレイ素子間 Δx によって補間できるものとする。素子番号 $1, \dots, n-1, n, n+1, \dots, n_0$ に対し、波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_{n-1}, \lambda_n, \lambda_{n+1}, \dots, \lambda_{n_0}$ が対応し、各素子間の波長差は

$$\lambda_k - \lambda_{k-1} \approx \Delta \lambda$$

ただし、 $k: 2 \sim n_0$ とする。

【0012】以上の事柄を前提とすれば、図3のフローチャートに示すように、実測値 $P_1, \dots, P_{n-1}, P_n, P_{n+1}, \dots, P_{n_0}$ を用い、 Δx を推定し、中心波長 λ_0 、トータルパワー P_{total} を求めることができる。以下中心波長 λ_0 、トータルパワー P_{total} を求める場合の動作について説明する。

【0013】シングルモードファイバ入射のように、入射口での光強度分布 $g(\xi, \eta)$ がガウス型の場合、トータルパワーを1とすれば、

$$-2(\xi^2 + \eta^2)/\omega_0^2 \quad \dots\dots(1)$$

布 $f(x, y)$ はやはりガウス型となり、損失がないものとすれば、

パワー p は、

【数1】

$$\int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} \rightarrow \int_{-\infty}^{\infty}$$

と置き換えることができれば、

【数3】

$d/2 + \Delta x$

$t_2 = (2)^{1/2} (1/\omega) \{ (k-n)r + d/2 + \Delta x \}$

となる。

【0018】この積分は数値積分也容易であるが、補誤差関数

【数6】

$$\text{Erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt$$

を用いれば、

$$p_k = (1/2) \{ \text{Erfc}(t_2) - \text{Erfc}(t_1) \}$$

となる。

【0019】次に、上記のようにして求めた理論値 p_{n-1} 、 p_n 、 p_{n+1} 等と Δx の関係について述べる。図 4 は p_{n-1} 、 p_n 、 $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ に対する Δx の関係を示す図である。なお、 p_{n+1} は p_{n-1} を左右反転したものである。ただし、 $d = 3.0 \mu\text{m}$ とし、 $r = 5.0 \mu\text{m}$ 、 $\omega = 3.0, 5.0, 7.0$ の場合を示した。つまり p_{n+1}/p_{n-1} の対数値すなわち $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ と Δx とはほぼ直線的になり、 $\ln(p_{n+1}/p_{n-1}) \propto \Delta x$ となる。

【0020】したがって、実測値 P_{n-1} 、 P_n 、 P_{n+1} が得られれば、 Δx は容易に求められ、中心波長 λ_0 およびトータルパワー P_{total} はそれぞれ次式で求められる。

$$\lambda_0 = \lambda_0 - \Delta x \cdot \Delta \lambda / r$$

$$P_{\text{total}} = P_n / p_n$$

【0021】上記は予め $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ と Δx の関係を求めておき、実測したデータ P_{n+1} 、 P_{n-1} による $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ の値から Δx を推定するものであるが、本発明はこれに限らず次のようにしてもよい。 $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ と Δx の直線性に着目し、この関係を 3 点 $(-r/2, \ln(p_{n+1}/p_{n-1}))$ 、 $(0, 0)$ 、 $(r/2, \ln(p_{n+1}/p_{n-1}))$ を通る直線で近似し、予め行う計算は、 $\Delta x = r/2$ または $-r/2$ の場合の $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ のみにしている。

【0022】このとき厳密に求めた $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ と上記直線のずれは、図 5 に示す通りである。ただし、 $r = 5.0 \mu\text{m}$ 、 $d = 3.0 \mu\text{m}$ である。この場合 ω が小さいほど誤差は大きくなるが、 $\omega = 3.0 \mu\text{m}$ の場合でも誤差は $\pm 3\%$ である。つまり、上記方法によって中心波長を補間するとき、

$$\lambda_0 = \lambda_0 - \Delta x \cdot \Delta \lambda / r$$

において、例えば、

$$\lambda_0 = 1.550, 0 \text{ nm}$$

$$\Delta \lambda = 0.10 \text{ nm}$$

として、 Δx に $\pm 3\%$ の誤差があっても、 λ_0 を 0.01 nm の桁までは確定できる。実際の光学系では、 ω は使用するシングルモードファイバによって若干変化するが、測定中是不変であるから、予め知る必要があるのは近似に使う 1 本の直線の傾きのみである。

【0023】考慮すべきずれの絶対値 $|\Delta x|$ が最大になるとき、すなわち $\Delta x = \pm r/2$ のときの $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ のみである。図 6 は、 $r = 5.0 \mu\text{m}$ 、 $d = 3.0 \mu\text{m}$ とし、 $\Delta x = -r/2 = -2.5 \mu\text{m}$ における $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ と ω の関係を示したものである。さらに実用的には、理論的な p_{n-1} 、 p_n 、 p_{n+1} を求めるときに補誤差関数 $E_i f_c(x)$ を用いるよりも数値積分を行った方が便利の場合もあり、またきざみをあまり細かくしなくても十分な精度が得られる。

【0024】図 7 は $E_i f_c(x)$ およびシンプソンの $1/3$ 公式 ($m=1$) で求めた $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ の比較である。ただし、 $\omega = 5.0 \mu\text{m}$ 、 $r = 5.0 \mu\text{m}$ 、 $d = 3.0 \mu\text{m}$ の場合である。一方トータルパワーは P_n/p_n で求められるが、上記条件のときシンプソンの $1/3$ 公式で求めた p_n の誤差は役 0.25% であり、実用上問題は無い。

【0025】図 8 は、実測値 (P_n で規格化)

$$\begin{aligned} &: \\ &P_{n-1} = 0.489 \\ &P_n = 1 \quad (\lambda_n = 1.554, 6 \text{ nm}) \\ &P_{n+1} = 0.130 \\ &: \end{aligned}$$

と、本発明の演算装置 30 のアルゴリズムにより求めた $\Delta x = 1.2, 1.2 \mu\text{m}$ による理論値 p_{n-1} 、 p_n 、 p_{n+1} との比較である (実際には $p_n = 0.365$ で規格化した値をプロット)。

【0026】このとき、
 $\lambda_0 = 1.554, 6 - (1.2/5.0) \times 0.1 = 1.554, 576 \text{ (nm)}$
 と求まる。

【0027】また、トータルパワー P_{total} は予め測定し 11.6 nW と求められているため、実測値の縦軸の目盛としては、 P_n の値が $P_n/p_n = 11.6 \text{ nW}$
 すなわち

$$P_n = 11.6 \text{ nW} \times 0.365 = 4.23 \text{ nW}$$

と表示されるようにしておけばよい。

【0028】以上のようにして被測定光の中心波長とパワーからトータルパワーを求めることができる。更に演算装置 30 は、図 9 に示すように、上記のようにして求められたレーザ光の中心波長とパワーからスペクトル形状を演算により推定する。ここでそのスペクトルが k 個の波長 $f_1(\lambda_i)$ 、 $f_2(\lambda_i)$ 、 \dots 、 $f_k(\lambda_i)$ から成るものとする。

【0029】演算装置 30 は続いて、

$$\begin{aligned} &[\text{数}7] \\ &M(\lambda_i) = \sum_k f_k(\lambda_i) \end{aligned}$$

ただし、 $M(\lambda_i)$ は実測データの演算により、非レーザ光スペクトルすなわち ASE ノイズのスペクトルを求める。

【0030】表示装置 40 では、上記のようにして求められたレーザ光の光スペクトルと非レーザ光スペクトルのいずれか一方または両方を指定により表示することができる。

【0031】なお、本発明の以上の説明は、説明および例示を目的として特定の好適な実施例を示したに過ぎな

い。したがって本発明はその本質から逸脱せずに多くの変更、変形をなし得ることは明らかである。例えば、実施例では入射口での光強度分布 $g(\xi, \eta)$ がガウス型である場合について説明したが、これに限らずローレンツ型であってもよい。

【0032】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、レーザ光のスペクトルは既知として電氣的に相殺するようにしているため、背景に埋もれていたブロードな光 (ASEノイズ) のスペクトルをより S/N 良く検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る光スペクトラムアナライザの一実施例を示す要部構成図

【図 2】アレイ素子と出射ビームの関係を示す図

【図 3】演算装置の機能を説明するためのフローチャート

【図 4】 p_{n-1} 、 p_n 、 p_{n+1} と Δx の関係を示す図

【図 5】 $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ と直線近似とのずれを示す図

す図

【図 6】 $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ と ω の関係を示す図

【図 7】 $\ln(p_{n+1}/p_{n-1})$ と Δx の関係を示す図

【図 8】実測値 P_k と理論値 p_k との比較図

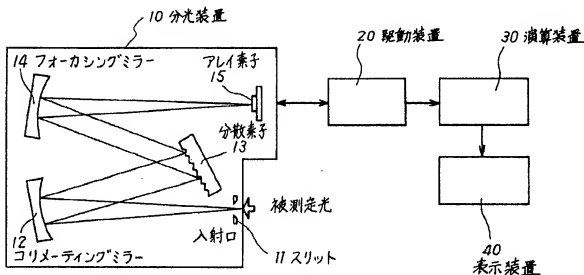
【図 9】演算装置の更なる機能を説明するためのフローチャート

【図 10】ダイナミックレンジを説明するための図である。

【符号の説明】

- 10 分光装置
- 11 スリット
- 12 コリメーティングミラー
- 13 分散素子
- 14 フォーカシングミラー
- 15 アレイ素子
- 20 駆動装置
- 30 演算装置
- 40 表示装置

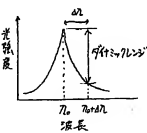
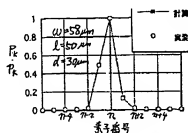
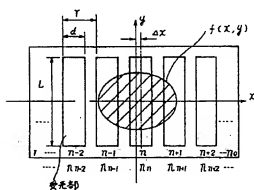
【図 1】



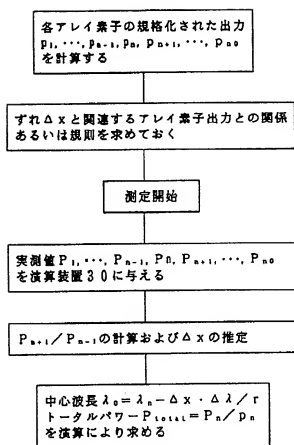
【図 2】

【図 8】

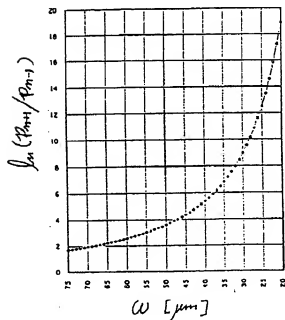
【図 10】



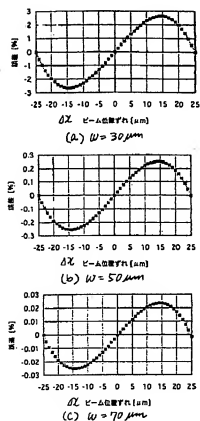
【図3】



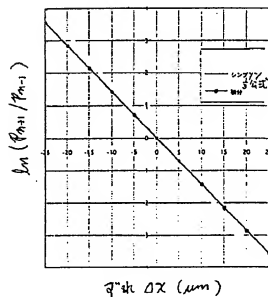
【図6】



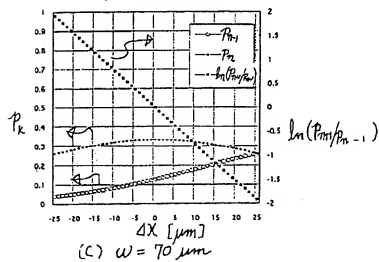
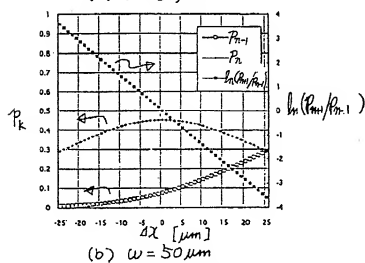
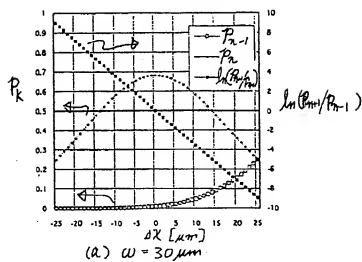
【図5】



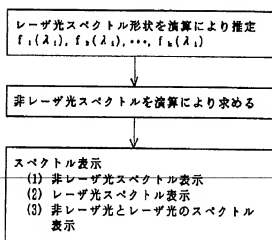
【図7】



〔図4〕



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 在原 守

東京都武蔵野市中町2丁目9番32号 横河

電機株式会社内